

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2014**

**Jan Bania**

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Obvodový analyzátor**  
**Circuit Analyzer**

**2014**

**Jan Bania**

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Jan Bania**

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601T013 Telekomunikační technika

Téma:

Obvodový analyzátor  
Circuit Analyzer

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je realizace obvodového analyzátoru pro měření obvodových funkcí:

1. Pomocí standardních komerčně dostupných měřicích přístrojů navrhnete a realizujete pracoviště pro automatizované měření frekvenčních charakteristik elektronických zařízení pro frekvenční rozsah 1 Hz až 10 MHz a rozsah úrovní -80 dBV až +20 dBV.
2. Vypracujete programové vybavení pro PC, které zajistí obsluhu měřicích přístrojů a zpracování výsledků měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

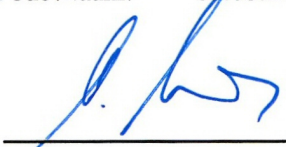
Vlastní literární rešerše k řešené problematice.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Tesař**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014

  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Zdeňku Tesaři a doc. Ing. Janu Žídkovi, CSc. za odborné konzultace spojené s touto prací.

*„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.  
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“*

V Ostravě 28. července 2014

*Jan Baria*

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací měřicího pracoviště k automatizovanému měření frekvenčních charakteristik elektronických zařízení. Pojednává o technickém zázemí (hardware) a jeho parametrech vyhovujícím pro měření frekvenčního rozsahu 1 Hz až 10 MHz a rozsah úrovní -80 dBV až +20 dBV. Dále se diplomová práce zabývá návrhem ovládacího software vytvořeným ve vývojovém prostředí LabView. Součástí je popis jednotlivých ovládacích prvků a funkčních bloků celé programové struktury.

## **Klíčová slova**

LabView, National Instruments, virtuální instrumentace, frekvenční charakteristika, osciloskop, generátor, obvodový analyzátor

## **Abstract**

The thesis deals with design and implementation of the measuring workplace for automated measurements of frequency characteristics of electronic devices. It deals with the technical facilities (hardware) and its parameters that are suitable for measuring the frequency range from 1 Hz to 10 MHz and the level range from -80 dBV to +20 dBV. Furthermore, the thesis deals with the design of the control software, which is developed in LabView development environment. The thesis contains a description of each control and function blocks of the whole program structure.

## **Keywords**

LabView, National Instruments, virtual instrumentation, frequency response, oscilloscope, generator, circuit analyzer

## Seznam použitých symbolů a zkratek

**VI** – Virtual Instrument (Virtuální nástroj)

**NI** – National Instruments

**I/O** – Input/Output (Vstupně/Výstupní)

**FFT** – Fast Fourier Transform (Rychlá Fourierova transformace)

**USB** – Universal Serial Bus (Univerzální sériová sběrnice)

**AM** – Amplitude Modulation (Amplitudová modulace)

**FM** – Frequency Modulation (Frekvenční modulace)

**PWM** – Pulse Width Modulation (Pulzně šířková modulace)

**DDS** – Direct Digital Synthesizer (Přímá digitální syntéza)

**PC** – Personal Computer (Osobní počítač)

**GPIB** – General Purpose Interface Bus

**LAN** – Local Area Network (Lokální síť)

**AC** – Alternating Current (Střídavý proud)

**DC** – Direct Current (Stejnoseměrný proud)

**GND** – Ground (Uzemnění)

## Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1. POPIS MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ A FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY .....</b>	<b>2</b>
1.1 GENERÁTOR AGILENT 33210A .....	2
1.2 DIGITÁLNÍ OSCILOSKOP TEKTRONIX TDS1002B .....	4
1.3 FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA .....	7
<b>2. SOFTWARE VYBAVENÍ A POPIS VI PŘÍSTROJE .....</b>	<b>9</b>
2.1 PROGRAMOVACÍ A VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW .....	9
2.2 ČELNÍ PANEL VI PŘÍSTROJE - OSCILOSKOP .....	10
2.3 POPIS BLOKOVÉHO DIAGRAMU VI PŘÍSTROJE - OSCILOSKOP .....	12
2.4 ČELNÍ PANEL HLAVNÍHO VI PŘÍSTROJE - GENERÁTOR .....	15
2.5 POPIS BLOKOVÉHO DIAGRAMU VI PŘÍSTROJE - GENERÁTOR.....	20
<b>3. TEST VI PŘÍSTROJE .....</b>	<b>27</b>
3.1 WIENŮV ČLÁNEK .....	27
3.2 POROVNÁNÍ TEORETICKÉ A NAMĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY .....	31
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>36</b>

## Úvod

V technické praxi se často setkáváme s potřebou měřit a vyhodnocovat obvodové funkce elektronických zařízení. Mezi takovéto zařízení patří např. filtry, zesilovače apod., u nichž chceme znát převážně frekvenční charakteristiku. Pro měření těchto charakteristik se využívají specializované přístroje, jako jsou generátory, osciloskopy a obvodové analyzátory. Vybavit těmito přístroji pracoviště je však poměrně nákladné, zejména proto, že se stoupajícím počtem měřených parametrů stoupá také počet k tomu potřebných přístrojů a tedy i cena takového pracoviště.

V dnešní době se však stále více prosazuje přístup, kdy se pořídí dražší přístroj s vyhovujícími technickými parametry a možností připojení k počítači. Tím nám vznikne jakýsi virtuální nástroj (VI). Ten pak disponuje možností naprogramovat si doplňující funkce nezbytné pro měření a hlavně budoucí rozšíření, aniž bychom museli dokupovat další hardware, což nám v konečném důsledku ušetří nejen místo v laboratoři (sníží se počet přístrojů) a čas (není nutno obsluhovat více přístrojů najednou), ale v neposlední řadě i investované peníze.

V této diplomové práci jsem se rozhodl navrhnout a realizovat jedno takové pracoviště, kde pomocí standardních, komerčně dostupných měřících přístrojů realizuji automatizované měření frekvenčních charakteristik elektronických zařízení. Pro realizaci jsem použil generátor a osciloskop s možností připojení k počítači přes sběrnici USB. Jako základní programové vybavení pro PC jsem zvolil programovací a vývojové prostředí LabVIEW, ve kterém je zajištěna podpora těchto měřících přístrojů a které umožňuje naprogramovat veškeré funkce potřebné pro realizaci obvodového analyzátoru.



## 1. Popis měřicích přístrojů a frekvenční charakteristiky

### 1.1 Generátor Agilent 33210A

Jedná se o generátor funkcí libovolného průběhu (Function/Arbitrary Waveform Generator). Výrobce je firma Agilent Technologies. Dle [W3] disponuje šířkou pásma od 1 mHz do 10 MHz. Přístroj umožňuje generovat základní matematické funkce jako je sinus, obdélník, trojúhelník, impuls a šum s možností lineárního či logaritmického rozmítání. Kromě těchto standardních předdefinovaných funkcí umožňuje s rozšířením 002 zadat libovolný uživatelský průběh. SW na vytváření vlastních průběhů je součástí dodávky. Grafický displej umožňuje rychlou a snadnou orientaci při nastavení výstupního signálu. Průběhy jsou generovány pomocí technologie přímé digitální syntézy (DDS), která vytváří stabilní průběhy s malým zkreslením sinusových průběhů, ale také rychlé náběžné a sestupné hrany obdélníkového průběhu.

Ze stránek uvedených v [W4] si můžeme stáhnout ovladač pro LabVIEW. Přístroj lze pomocí USB kabelu připojit k počítači. Na obr. 1 je generátor vyobrazen.



Obr. 1: Generátor Agilent 33210A

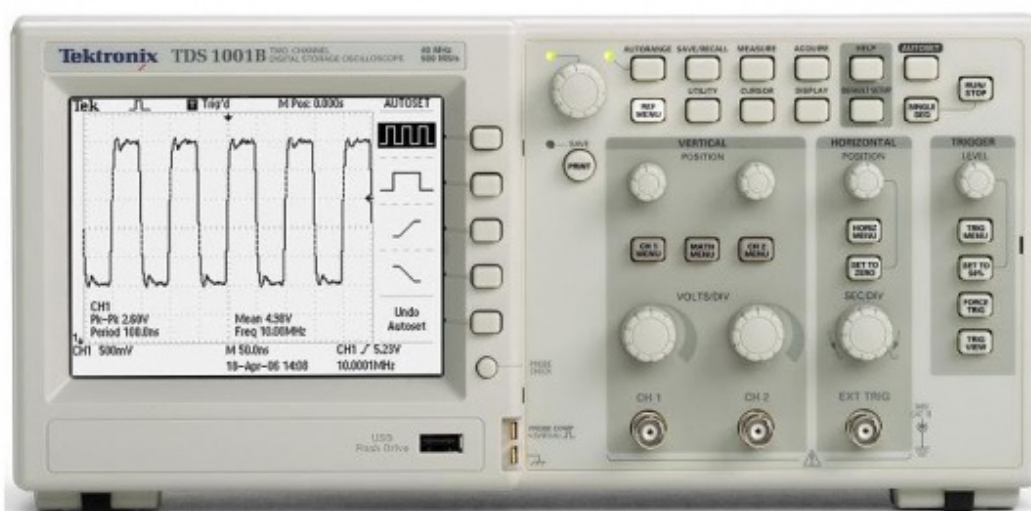
Základní parametry:

- sinusové a obdélníkové signály až do 10 MHz
- tvar signálu: rampa, obdélník, šum a ss. průběhy
- modulace: AM, FM a PWM
- lineární i logaritmické rozmítání a burst mód
- grafický mód pro vizuální ověření nastavení signálu
- rozhraní GPIB, USB a LAN
- součástí dodávky je IntuiLink software
- volitelné rozšíření 001 pro možnost synchronizace více přístrojů
- volitelné rozšíření 002 pro generování libovolných průběhů: 14-bit, 50 MSa/s, 8 Kbodů

## 1.2 Digitální osciloskop Tektronix TDS1002B

Výrobce dvoukanálového digitálního osciloskopu je firma TEKTRONIX. Tento osciloskop disponuje dle [W6] šířkou pásma 60 MHz. Reálná vzorkovací rychlost je 1 GS/s na kanál. Je standardně vybaven FFT analýzou. Rychlá Fourierova transformace (FFT) umožňuje snadno analyzovat měřený signál. Další funkcí je např. rozšířené spouštění (hrana, video, impulsní). U impulsního spouštění lze nastavit logickou podmínku pro spouštěcí impuls a jeho šířku. Spouštění VIDEO umožňuje synchronizaci (NTSC, PAL, SECAM) na vybraný řádek. Osciloskop dokáže také testovat připojenou sondu s možností její kompenzace.

Ze stránek uvedených v [W5] si můžeme stáhnout ovladač pro LabVIEW. Přístroj lze pomocí USB kabelu připojit k počítači. Na obr. 2 je přístroj řady TDS1000 zobrazen.

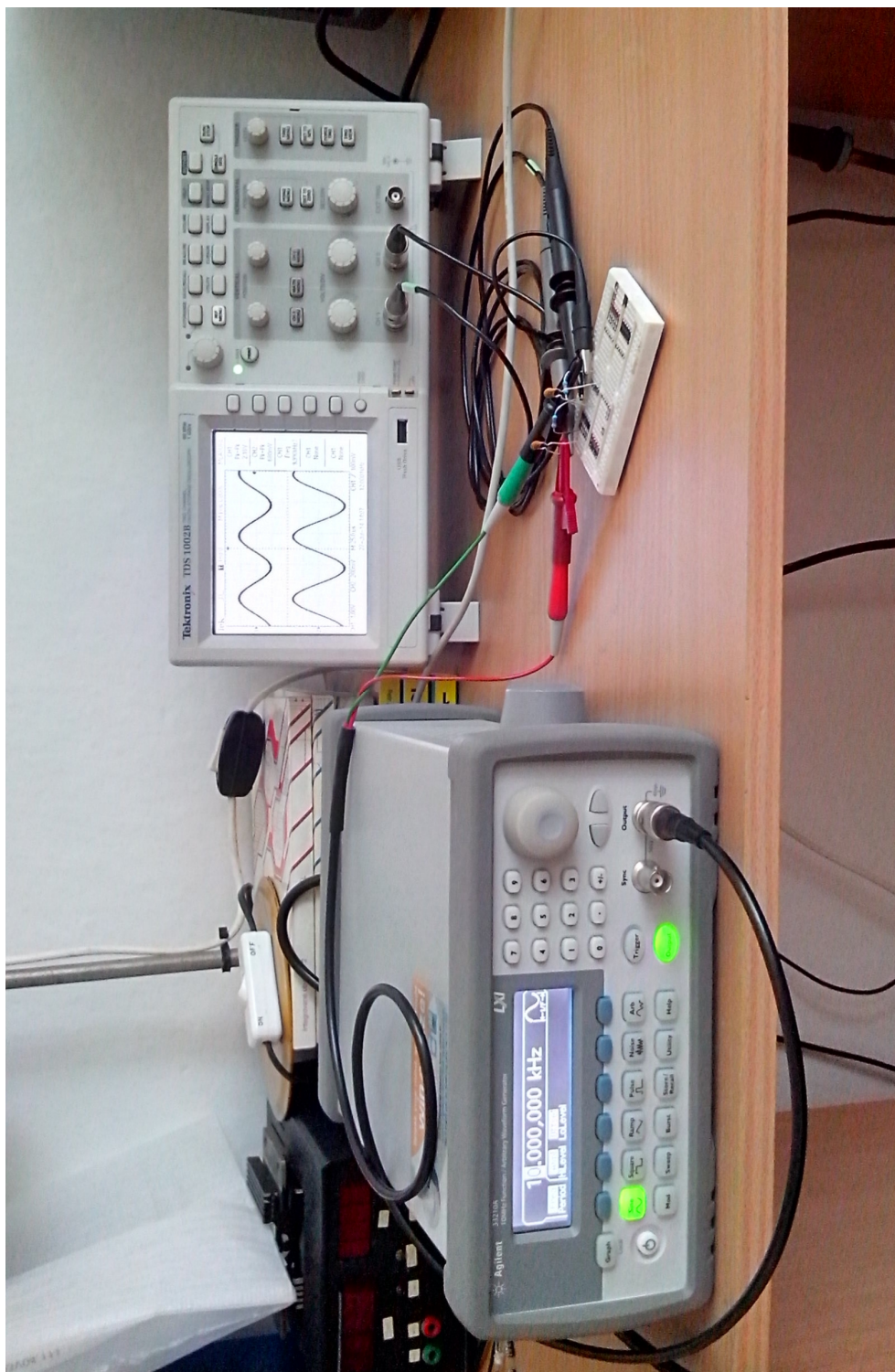


Obr. 2: Digitální osciloskop Tektronix série TDS1000B

Základní parametry:

- Počet kanálů 2
- Šířka pásma 60 MHz
- Monochromatický LCD s úhlopříčkou 145 mm a rozlišením 320x240 bodů
- Automatické nastavení pomocí funkce Autoset pro různé průběhy
- USB pro připojení Flash disku
- Reální vzorkovací rychlost 1 GS/s
- Vertikální citlivost 2 mV/div...5 V/div s rozlišením 8 bitů
- Horizontální rozlišení 5 ns/div...50 s/div
- Doba náběžné hrany pro BNC konektor < 5,8 ns
- Detekce špičky  $\geq 12$  ns
- Délka záznamu 2500 vzorek pro každý kanál
- Kurzory s výběrem 11 automatických měření a FFT analýzou
- Rozšířené možnosti spouštění TRIGGER
- TV synchronizace NTSC, PAL a SECAM
- Rychlá zkouška sondy pro vyloučení problémů při použití
- Možnost vyvolání pomocné funkce HELP podle kontextu
- Vícejazyčné uživatelské rozhraní, pomocné MENU HELP
- Zabudované rozhraní USB pro přenos dat na PC
- Provozní teplota 0...50°C

Na obr. 3 je fotografie zachycující měřící pracoviště s oběma přístroji a testovacím zapojením na nepájivém poli.



Obr. 3: Fotografie měřícího pracoviště

### 1.3 Frekvenční charakteristika

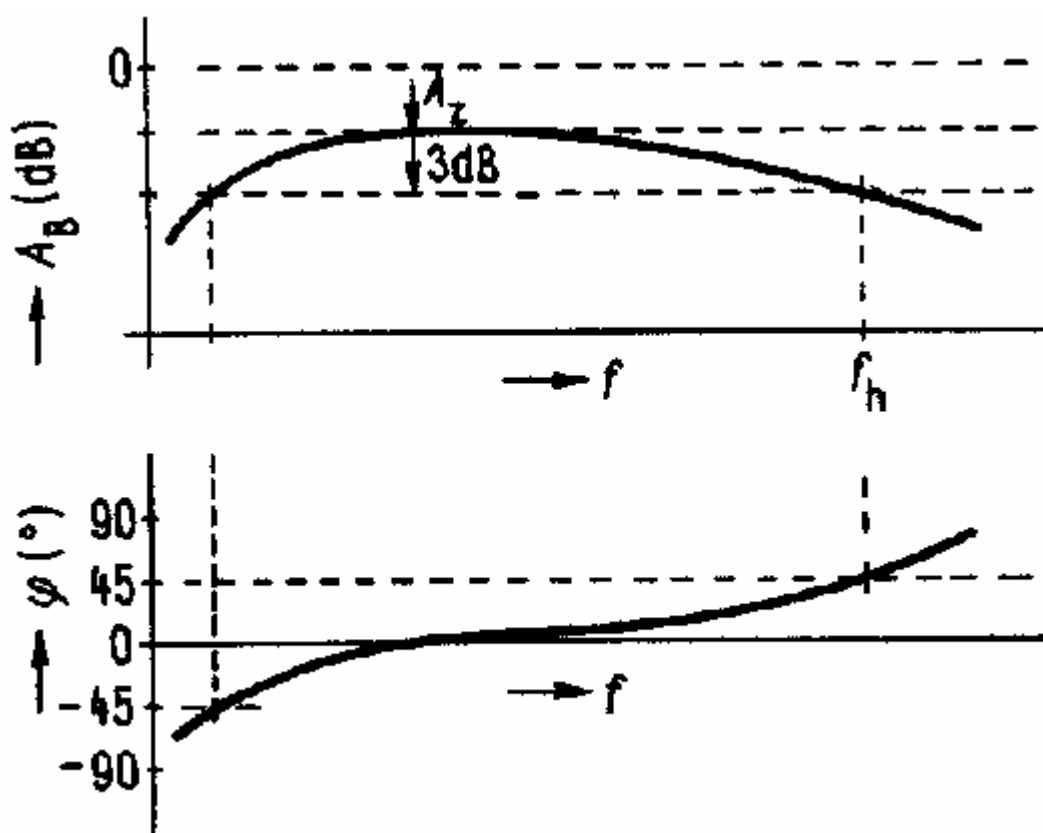
Frekvenční charakteristika je dle [W7] grafické vyjádření ustálené reakce dynamického systému na harmonickou budící funkci  $u(t) = \sin(\omega t)$ ,  $\omega \in (0, \infty)$  po odeznění přechodového děje. Je to jedna ze základních dynamických charakteristik. V této práci se budu zabývat měřením a zobrazením frekvenční charakteristiky v logaritmických souřadnicích, tu dostaneme logaritmování frekvenčního přenosu  $F(j\omega)$  viz. rovnice (1).

$$\begin{aligned} F(j\omega) &= |F(j\omega)| \cdot e^{j\varphi(\omega)} \\ \ln F(j\omega) &= \ln [|F(j\omega)| \cdot e^{j\varphi(\omega)}] \\ \ln F(j\omega) &= \ln |F(j\omega)| + \ln e^{j\varphi(\omega)} = \ln |F(j\omega)| + j\varphi(\omega) \end{aligned} \quad (1)$$

Po úpravě se rovnice se rozložila na dva členy, první „ $\ln |F(j\omega)|$ “ vynášíme do grafu jako amplitudovou frekvenční charakteristiku a druhý „ $\varphi(\omega)$ “ vynášíme do grafu jako fázovou frekvenční charakteristiku. Amplitudovou frekvenční charakteristiku vynášíme zpravidla v decibelech a platí vztah (2).

$$A_{dB} = 20 \cdot \log |F(j\omega)| \quad [dB] \quad (2)$$

Na obr. 4 je příklad frekvenční charakteristiky [W9], nahoře amplitudová, pod ní fázová.



Obr. 4: Příklad znázornění frekvenční charakteristiky

## 2. Softwarové vybavení a popis VI přístroje

### 2.1 Programovací a vývojové prostředí LabVIEW

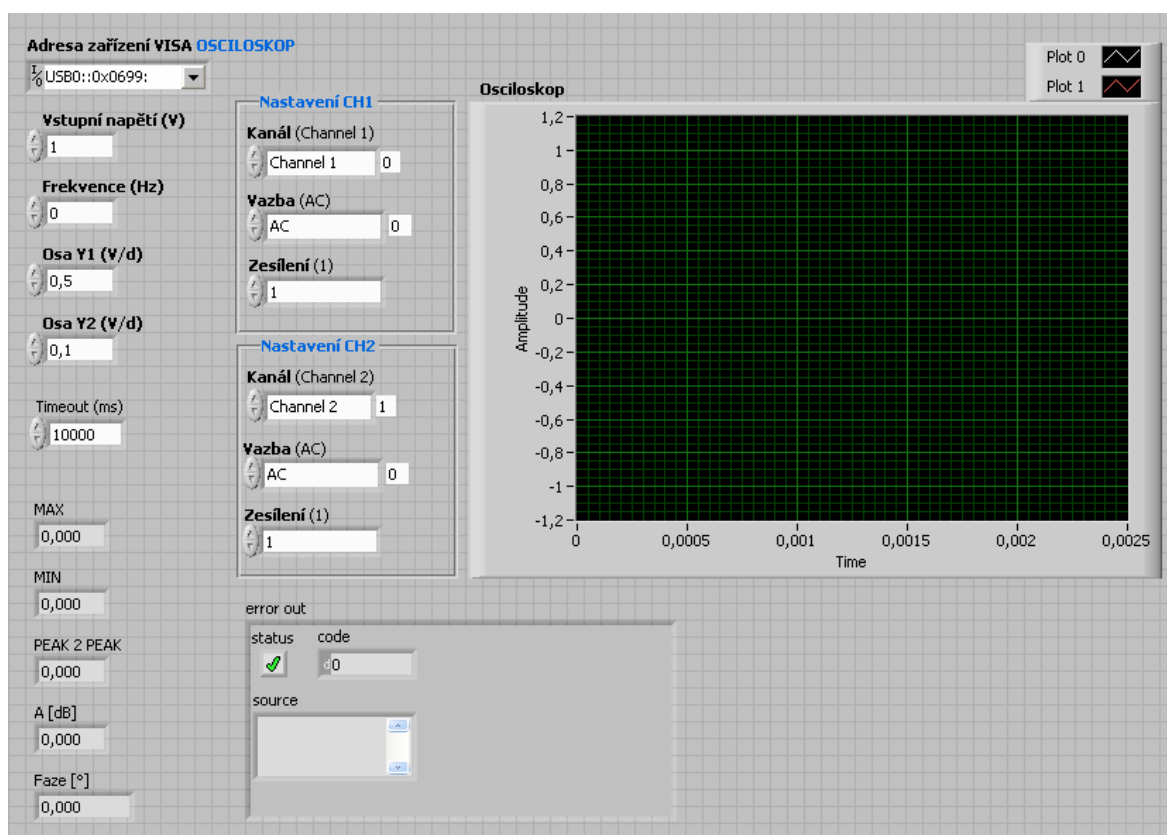
Název „LabVIEW“ pochází z anglického „Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench“, což můžeme volně přeložit jako „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“. Toto programovací a vývojové prostředí je produktem americké firmy National Instruments (NI), jedné z největších společností zabývajících se virtuální instrumentací. Za hlavní cíl virtuální instrumentace je přitom obecně považováno *„nahrazení dočasně nebo i trvale prostorově, finančně a mnohdy i časově náročné využití technických prostředků (hardware) řešením virtuálním (zdánlivým) za přispění programových prostředků (software), a zejména pak grafickými a vizuálními prostředky, a zprostředkovat tak uživateli maximální názornost“*. [1]

National Instruments zajišťuje navíc vysokou podporu ohledně vzorových příkladů, tutoriálů, diskusních fór při řešení různých problémů apod. Vzhledem k podpoře ovladačů pro připojení k počítači měřících přístrojů přes rozhraní USB jsem se rozhodl pro realizaci automatizovaného pracoviště právě s vývojovým prostředím LabVIEW. K dispozici jsem měl verzi LabVIEW 2013, dále bylo potřeba nainstalovat rozhraní NI-VISA Runtime 5.4.1, jedná se o univerzální I/O interface.

Prostředí LabVIEW se skládá z čelního panelu, který tvoří uživatelské rozhraní. Určuje vzhled a nacházejí se v něm ovládací prvky, grafy apod. Samotný software se však tvoří v blokovém diagramu. Tam je vše zcela pod taktovkou programátora a určuje tak chování celé aplikace. Jednotlivé VI přístroje se dají navzájem propojovat, což jsem využil i v mé práci. VI osciloskop byl vložen do VI generátoru. Jednotlivým VI přístrojům jsou věnovány následující kapitoly.



## 2.2 Čelní panel VI přístroje - Osciloskop



Obr. 5: Čelní panel VI přístroje - Osciloskop

Obr. 5 znázorňuje čelní panel virtuálního přístroje pro osciloskop. Osciloskop připojený do portu USB dostane přiřazenou unikátní VISA adresu, kterou je potřeba vybrat z rolovací nabídky vlevo nahoře - pole: „Adresa zařízení VISA - Osciloskop“. Pod ním jsou pole:

**Vstupní napětí (V)** – zobrazuje se zde napětí jdoucí z generátoru

**Frekvence (Hz)** – zobrazení frekvenci nastavenou na generátoru

**Osa Y1 (V/d)** – rozlišení Y-nové osy pro kanál 1

**Osa Y2 (V/d)** – rozlišení Y-nové osy pro kanál 2

**Timeout (ms)** – nastavení času k ukončení programu, kdyby nastala chyba

**MAX** – maximum změřeného napětí

**MIN** – minimum změřeného napětí

**PEAK 2 PEAK** – amplituda signálu (špička - špička)

**A [dB]** – amplituda signálu (v decibelech)

**Faze [°]** – fáze signálu (ve stupních)

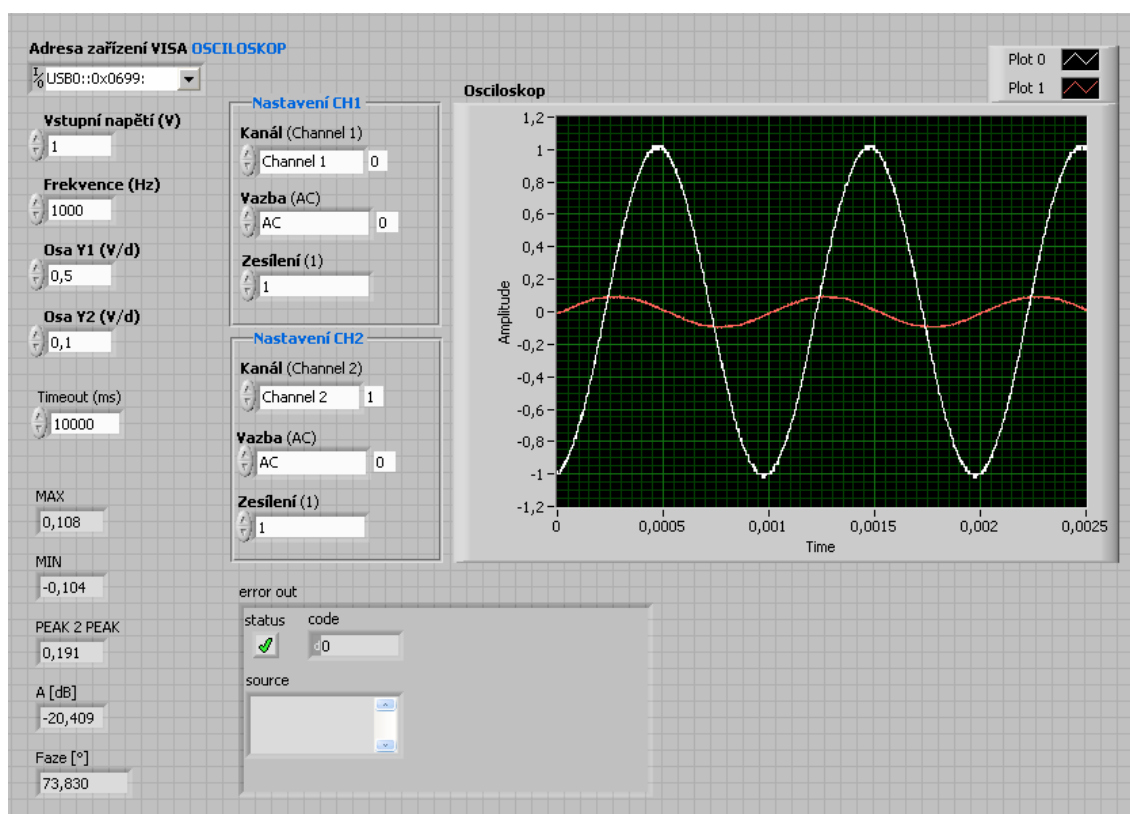
Napravo od nich jsou pole k nastavení jednotlivých kanálů osciloskopu. V závorkách vedle nich jsou reprezentovány přednastavené hodnoty.

**Kanál** – výběr kanálu (Channel 1/Channel 2)

**Vazba** – vazba sondy (AC/DC/GND)

**Zesílení** – zesílení signálu (1,2,...)

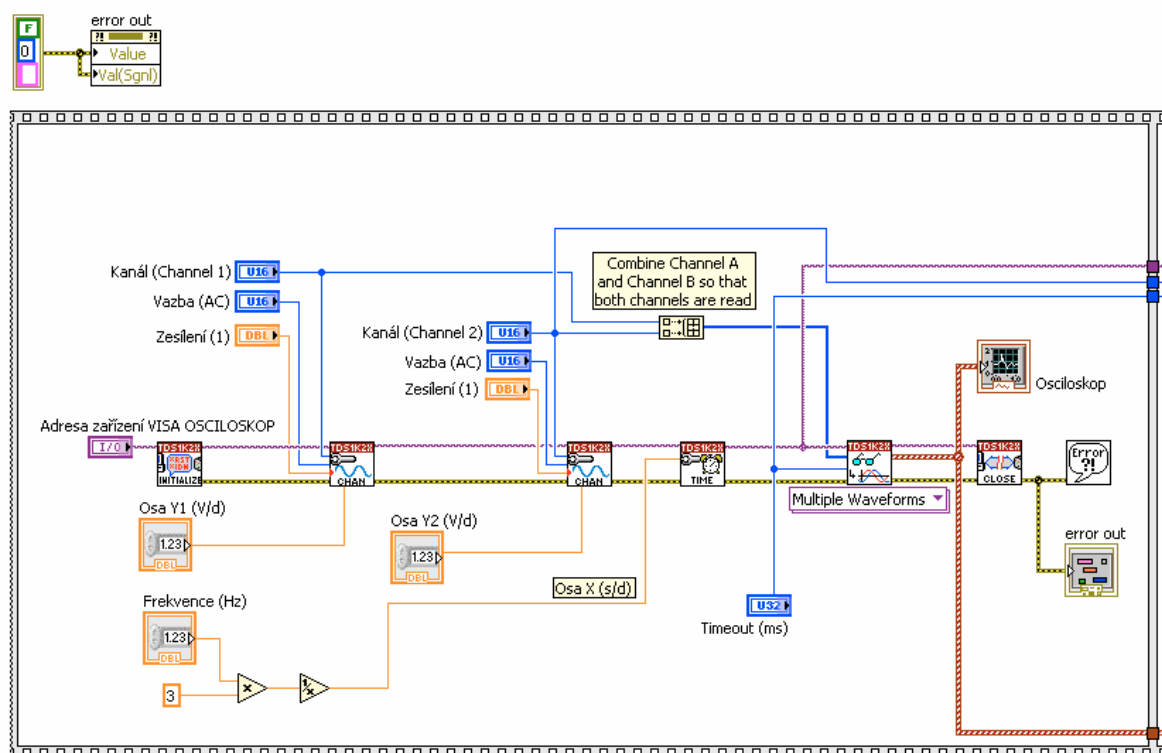
Pole „error out“ slouží k zobrazení chybového hlášení, pokud k nějaké chybě během měření dojde. A nechybí také obrazovka osciloskopu, pro náhled průběhu signálů. Čelní panel VI osciloskopu spustíme pouze v případě, pokud je potřeba některé hodnoty změnit či si ověřit funkci osciloskopu a měření veličin. Jinak jej není nutno spouštět, jelikož je zahrnut do hlavní aplikace měření. Na obr. 6 je zobrazen čelní panel VI osciloskopu po měření.



Obr. 6: Čelní panel VI osciloskopu po měření

Vidíme průběhy napětí obou kanálů. Kanál 1 je bílý, kanál 2 červený. Dále se zobrazily naměřené hodnoty MAX a MIN. Z nich se vypočetly hodnoty PEAK 2 PEAK, A [dB] a Faze [°].

### 2.3 Popis blokového diagramu VI přístroje - Osciloskop



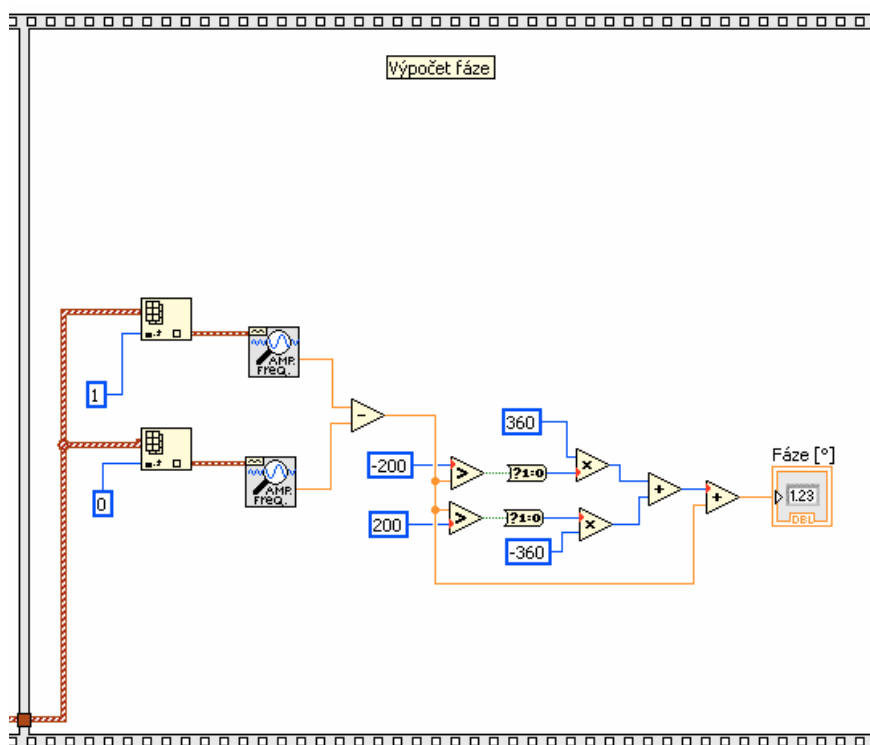
Obr. 7: Blokový diagram VI osciloskopu 1/3

Blokový diagram VI osciloskopu je příliš velký, než aby se vlezl na jednu stránku. Proto jsem jej rozdělil na třetiny a ty budou popsány jednotlivě. Na obr. 7 vidíme první část. Vlevo nahoře je blok „Property Node“ s názvem „error out“. Ten byl již popsán v předchozí kapitole a pro připomenutí - slouží k zobrazení chybových hlášení. Další funkční bloky jsou v šedém obdélníku připomínajícím políčko filmu. Jedná se o strukturu „Flat Sequence“. Ta nám zabezpečuje postupné vykonání jednotlivých sekvencí, tzn. dokud nejsou provedeny všechny úkony v první sekvenci (první políčku filmu), nepřejde se k další. Což je logické, jelikož např. nemůžeme vyhodnocovat naměřené údaje, které ještě nemáme. První sekvence by se dala nazvat jako inicializační. Dochází zde k nastavení vstupních hodnot osciloskopu, jako jsou např. Kanál, Vazba, Zesílení, VISA adresa, rozlišení Volt/dílek (Osa Y1, Osa Y2) a Frekvence, od které se odvozuje časová základna osciloskopu (Osa X) podle vztahu (3).

$$OsaX = \frac{1}{3 \cdot f} \quad [s/d] \quad (3)$$



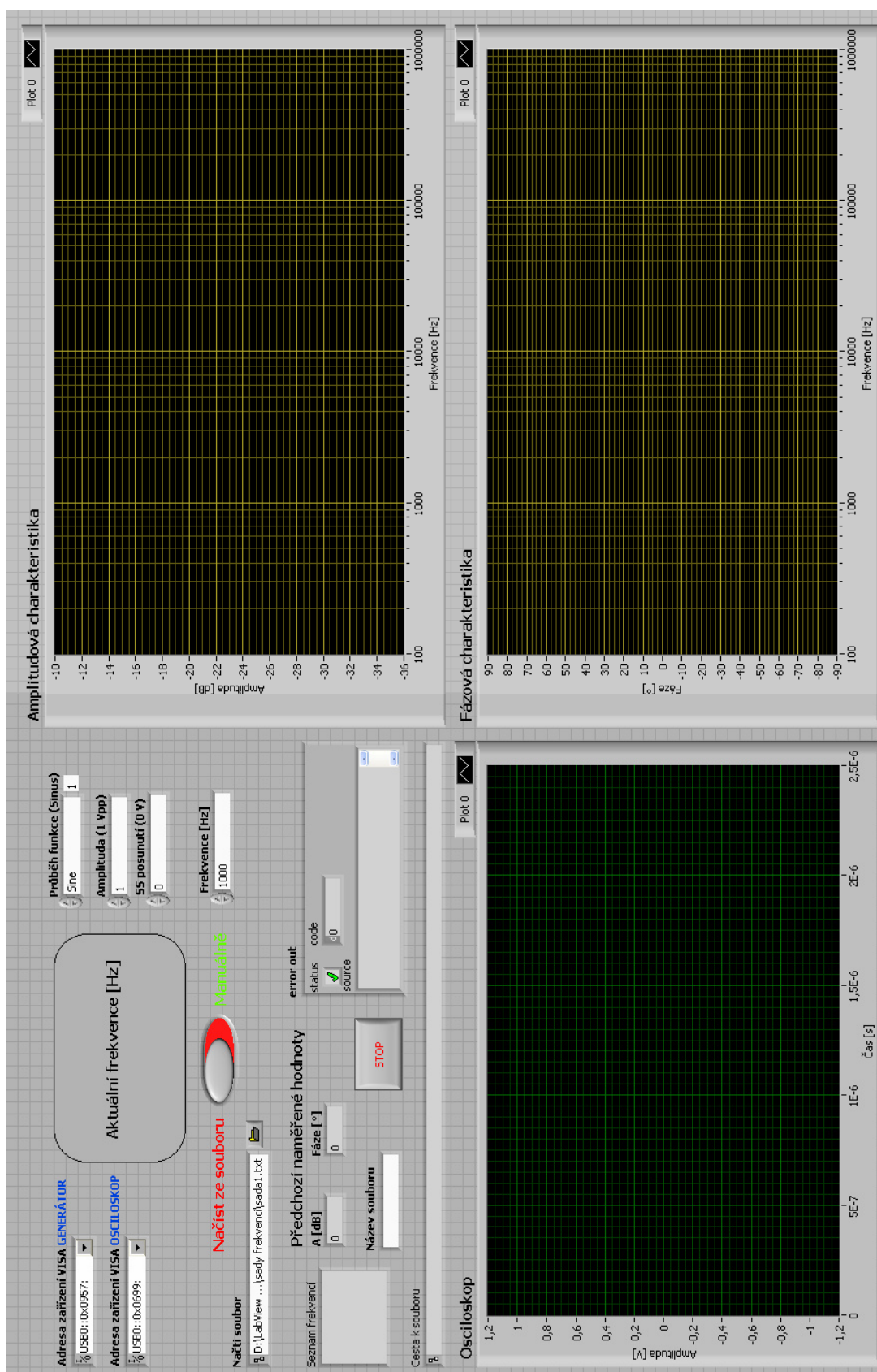
Do poslední sekvence 3/3 obr. 9 vstupuje pouze data průběhu signálu (hnědý vodič).



Obr. 9: Blokový diagram VI osciloskopu 3/3

V této sekvenci se spočítá fáze signálu. Přes bloky „Single Tone Information“ projdou data z osciloskopu, každý kanál se zpracuje zvlášť a výstupem je fáze každého kanálu. Ty mezi sebou odečteme a pomocí komparátorů zjistíme, jestli se kanál 2 předbíhá nebo opoždí. Podle toho se k výsledku buď přičte  $+360^\circ$ , nebo  $-360^\circ$ , což je délka periody, jinak také  $2\pi$ . Vypočtené hodnoty napěťového přenosu a fáze putují do hlavního čelního panelu generátoru.

## 2.4 Čelní panel hlavního VI přístroje - Generátor



Obr. 10: Čelní panel hlavního VI přístroje - Generátor

Na obr. 10 je čelní panel hlavního virtuálního přístroje generátoru. Vlevo nahoře jsou pole „**Adresa zařízení VISA GENERÁTOR**“ a „**Adresa zařízení VISA OSCILOSKOP**“. Slouží k nastavení správné adresy USB portu. Uprostřed nahoře jsou následující pole:

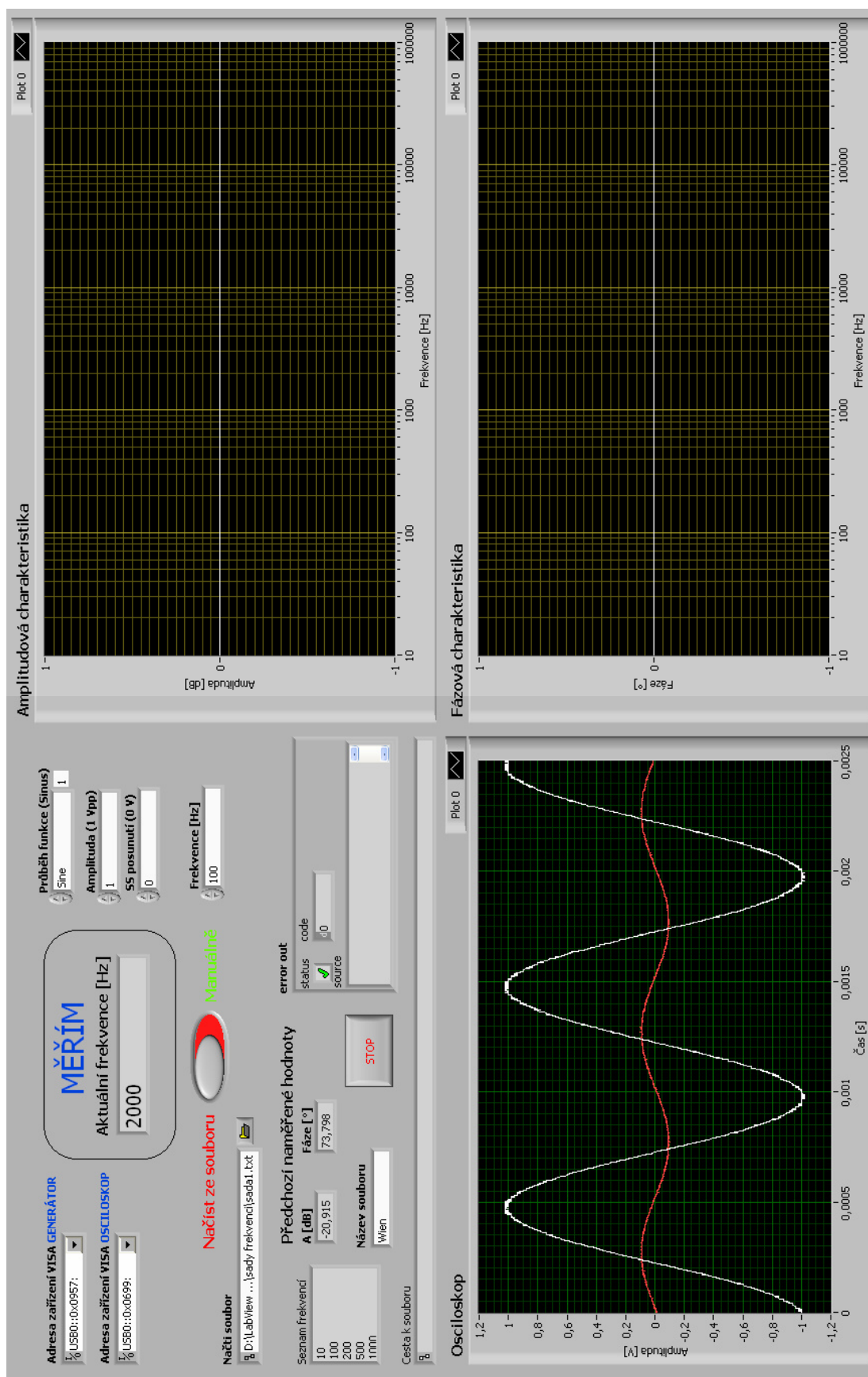
„**Průběh funkce (Sinus)**“ – nastavuje se zde jaký tvar má mít výstupní signál z generátoru

„**Amplituda (1 Vpp)**“ – výstupní amplituda (špička - špička) z generátoru

„**SS posunutí (0 V)**“ – lze nastavit stejnosměrné posunutí

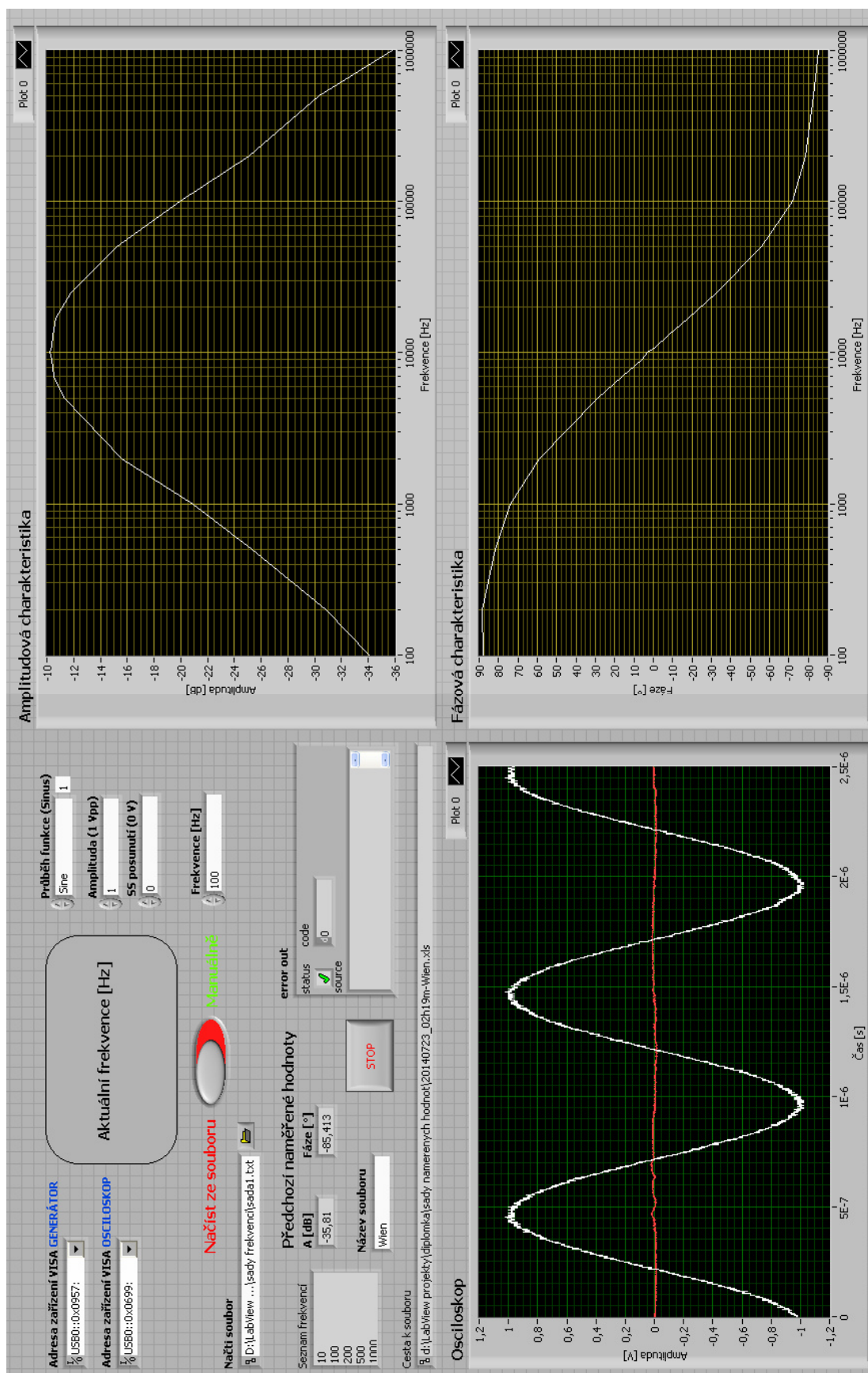
Pole „**Frekvence [Hz]**“ slouží k manuálnímu zadání frekvence, tu zadáme, pokud chceme otestovat funkci měření na jedné frekvenci. V tom případě přepneme přepínač nalevo od toho pole do polohy „**Manuálně**“. Na obr. 11 je tento přepínač v poloze „**Načíst ze souboru**“, což znamená, že je zvoleno automatické testování a hodnoty frekvencí se načítají z textového souboru. Kliknutím na ikonu pootevřené složky nastavíme cestu k souboru - v našem případě „sada1.txt“. Textový soubor obsahuje hodnoty frekvencí v jednotkách Hz, vzájemně oddělené dalším řádkem (entrem). Ještě máme možnost do pole „**Název souboru**“ zadat vlastní název souboru, do kterého se uloží výsledky měření. Abychom měli přehled, jak probíhá měření, jsou k dispozici pole „**A [dB]**“ a „**Fáze [°]**“. Jedná se vypočtené hodnoty z předchozího měření.

Pokud máme vše nastaveno, můžeme aplikaci spustit. V poli „**Seznam frekvencí**“ se zobrazí náhled několika hodnot frekvencí. Nahoře uprostřed se zobrazí text „**MĚŘÍM**“ a hodnota aktuální frekvence, na které se provádí měření. Na obr. 10 lze tento nápis vidět. Pokud by během měření došlo k nějaké chybě, vypíše se do pole „**error out**“. Taktéž máme možnost měření předčasně ukončit, a to tlačítkem s červeným nápisem „**STOP**“. V průběhu měření se zobrazují náhledy signálů na obrazovce nazvané „**Osciloskop**“, viz taktéž obr. 11.



Obr. 11: Čelní panel hlavního VI přístroje při měření



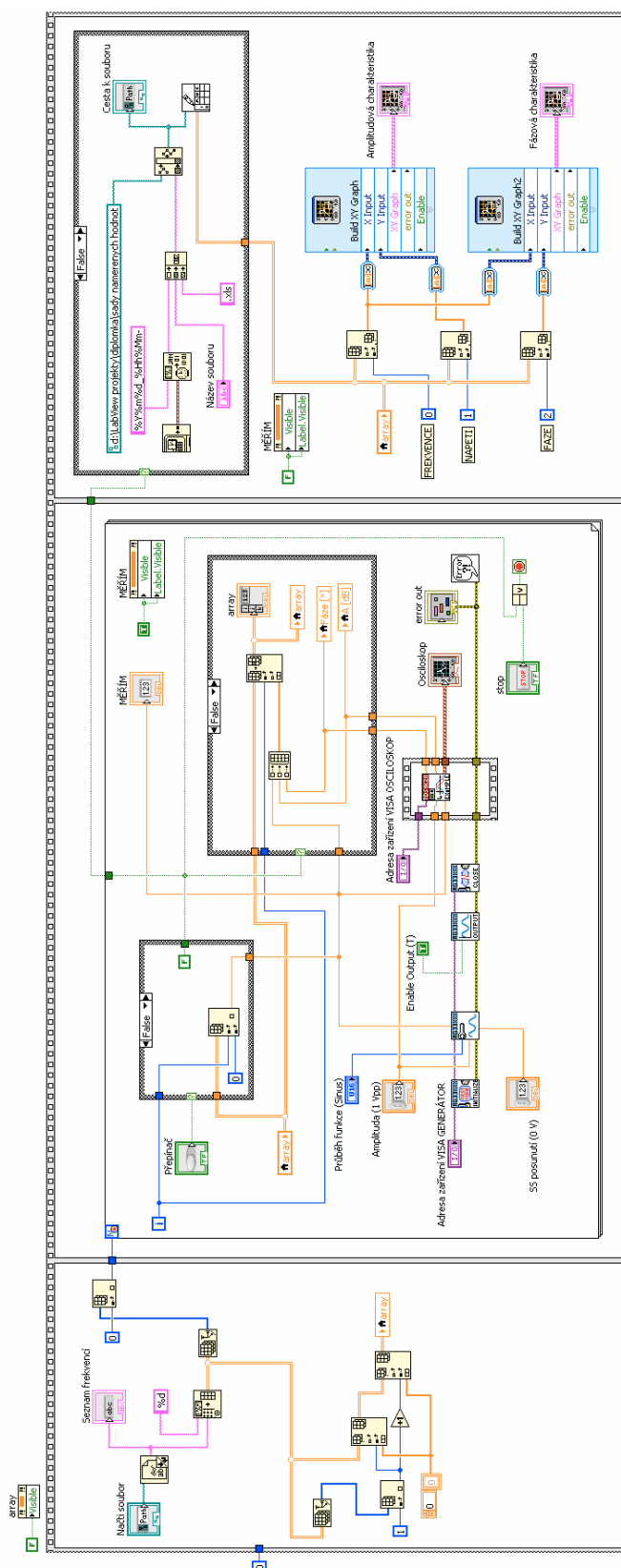


Obr. 12: Čelní panel hlavního VI přístroje – vykreslení charakteristik

Po změření všech zadaných frekvencí se vykreslí amplitudová a fázová charakteristika do příslušných grafů, viz obr. 12. Taktéž se uloží vypočtené hodnoty do souboru, v našem případě „**20140723\_02h19m-Wien.xls**“. Hodnoty lze použít k dalšímu zpracování, např. v programu Microsoft Excel.

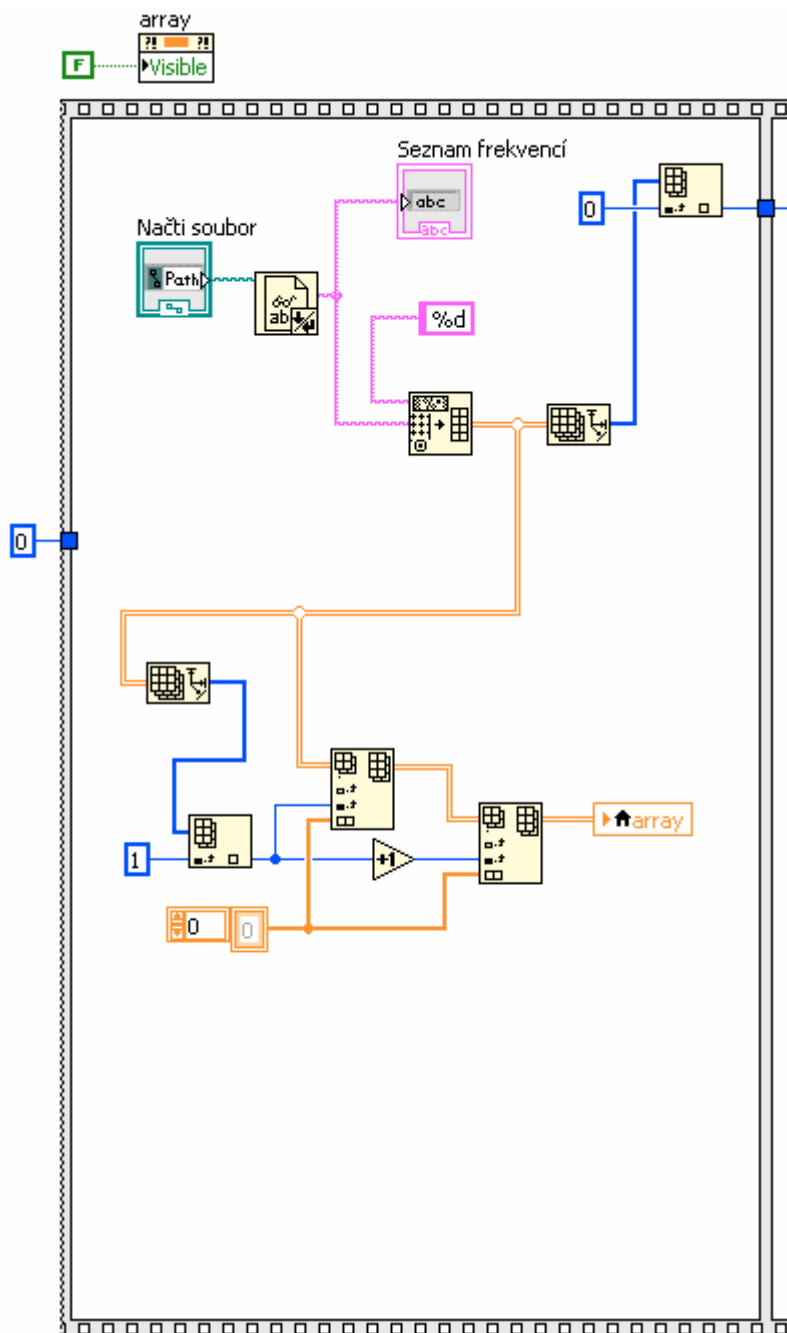
## 2.5 Popis blokového diagramu VI přístroje - Generátor

Na obr. 13 je blokový diagram VI generátoru.



Obr. 13: Blokové schéma hlavního VI přístroje – Generátor

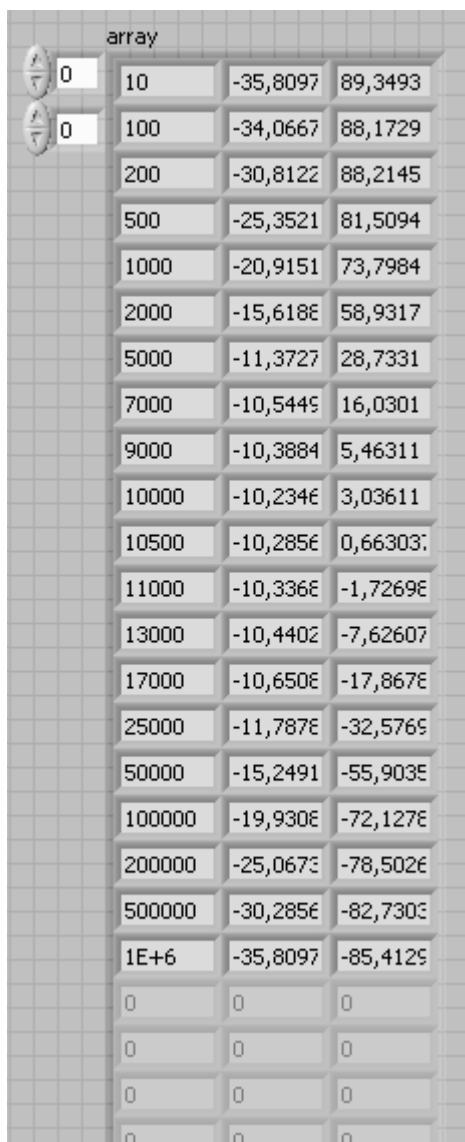
Jelikož je v celku rozsáhlý, popíšu jej obdobně jako blokový diagram osciloskopu, tzn. po částech.



Obr. 14: Blokový diagram VI generátoru 1/3

Na obr. 14 vidíme první část sekvence. Nahoře je blok „Načti soubor“. Jak již název napovídá, slouží k načtení souboru, ve kterém máme uložen seznam frekvencí. Blok „Seznam frekvencí“ v čelním panelu zobrazí prvních pár hodnot. Celý seznam však načteme do 2D pole (tabulky). Tato tabulka se skládá ze 3 sloupců. 1. sloupec prezentuje frekvence, 2. sloupec

napěťový přenos v decibelech a 3. sloupec fázi signálu ve stupních. Vytvoří se tak lokální proměnná „array“. Ta má úplně vlevo nahoře svůj „Property Node“ s názvem „array“. Tento blok slouží k zobrazení této tabulky na čelním panelu generátoru, viz obr. 15.



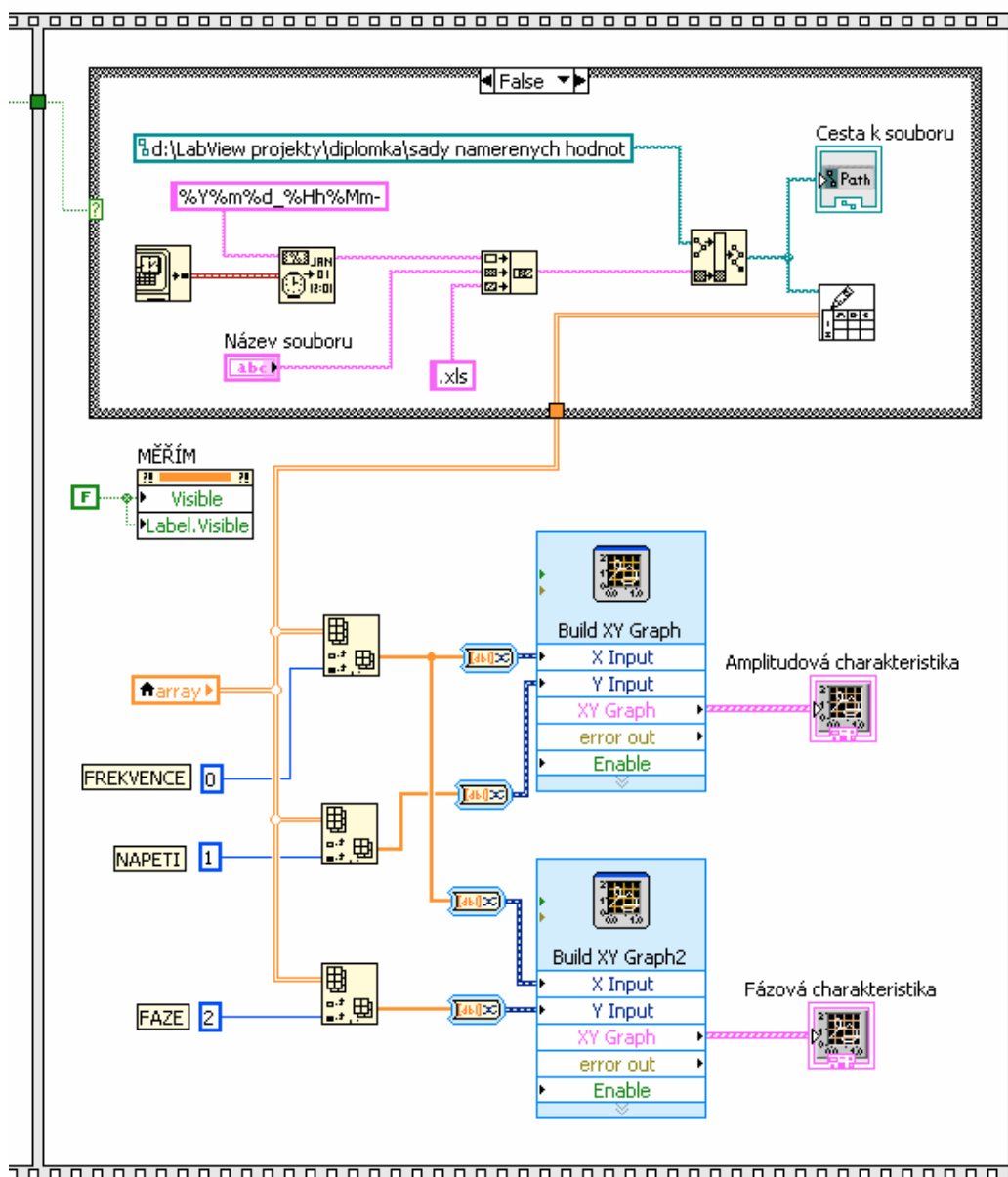
array		
0	10	-35,8097 89,3493
0	100	-34,0667 88,1729
	200	-30,8122 88,2145
	500	-25,3521 81,5094
	1000	-20,9151 73,7984
	2000	-15,6188 58,9317
	5000	-11,3727 28,7331
	7000	-10,5449 16,0301
	9000	-10,3884 5,46311
	10000	-10,2346 3,03611
	10500	-10,2856 0,66303
	11000	-10,3368 -1,72698
	13000	-10,4402 -7,62607
	17000	-10,6508 -17,8678
	25000	-11,7878 -32,5769
	50000	-15,2491 -55,9038
	100000	-19,9308 -72,1278
	200000	-25,0673 -78,5026
	500000	-30,2856 -82,7303
	1E+6	-35,8097 -85,4129
	0	0 0
	0	0 0
	0	0 0
	0	0 0

Obr. 15: Tabulka array

Jelikož se však může jednat o stovky a více hodnot, není nutno jí pokaždé zobrazovat a zaplácát si tak čelní panel. Její zobrazení lze provést nastavením přepnutím zelené ikony F (false) na T (true). V další sekvenci potřebujeme znát celkový počet frekvencí, a proto do další sekvence postupuje modrý vodič z bloku „Index Array“, kterému předchází „Array size“.



VI osciloskop, jehož blokové schéma bylo popsáno v kapitole 2.3, je umístěn v samotné „Flat Sequence Structure“, což znamená, že se čeká, až proběhnou všechna měření a výpočty. Po zdárném zpracování dat VI osciloskop vrací následující data: A [dB], Fáze [°], error out a obrazovku osciloskopu, ve které se vykreslí průběhy obou signálů. Napěťový přenos a fáze se ukládá zpět do tabulky „array“, společně s přiřazenou frekvencí a to přes bloky „Build Array“ a „Replace Array Subset“. Celé je to umístěno v dalším bloku „Case Structure“, jelikož toto ukládání probíhá pouze tehdy, je-li „Přepínač“ v poloze „Načíst ze souboru“. Zcela logicky nemá smysl ukládat jeden řádek tabulky, pokud je „Přepínač“ v poloze „Manuálně“, jelikož z jedné hodnoty graf nevykreslíme. Vpravo nahoře je „Property Node“ s názvem „MĚŘÍM“. Zajišťuje nám, že během průběhu 2. sekvence se nám bude zobrazovat slovo „MĚŘÍM“ na čelním panelu, aby byl uživatel upozorněn na probíhající akci. Měření lze zastavit stisknutím tlačítka „STOP“. Tato sekvence zabere nejvíce času, jelikož v ní musí osciloskop spustit signál (trigger) a nastavit časovou základnu (timebase).



Obr. 17: Blokový diagram VI generátoru 3/3

Na obr. 17 je poslední sekvence. Zde dochází k vynesení hodnot do grafů a uložení do souboru. Z předchozí sekvence zde vede tenký zelený vodič od „Přepínače“. Pokud je zvolen automatický režim, je povoleno uložení hodnot i vykreslení grafů.

Nahoře ve struktuře „Case Structure“ je vytvořeno ukládání hodnot do souboru. Skládá se z funkčního bloku „Get Date/Time“, který načte čas z počítače, ten je potřeba naformátovat funkcí „Format Date/Time String“. Dostaneme tak výsledný formát, ke kterému přidáme vlastní název souboru a příponu xls.

Kompletní název souboru pak může vypadat např. takto: „20140723\_02h19m-Wien.xls“.



Dále je třeba určit, kam se má soubor uložit, což je provedeno blokem „Build Path“. Cesta je nastavena takto: „d:\LabView projekty\diplomka\sady namerenych hodnot“. Blok „Write To Spreadsheet File“ provede zápis hodnot z tabulky „array“ do souboru. Zelená ikona slouží k zobrazení pole „Cesta k souboru“ na čelním panelu VI.

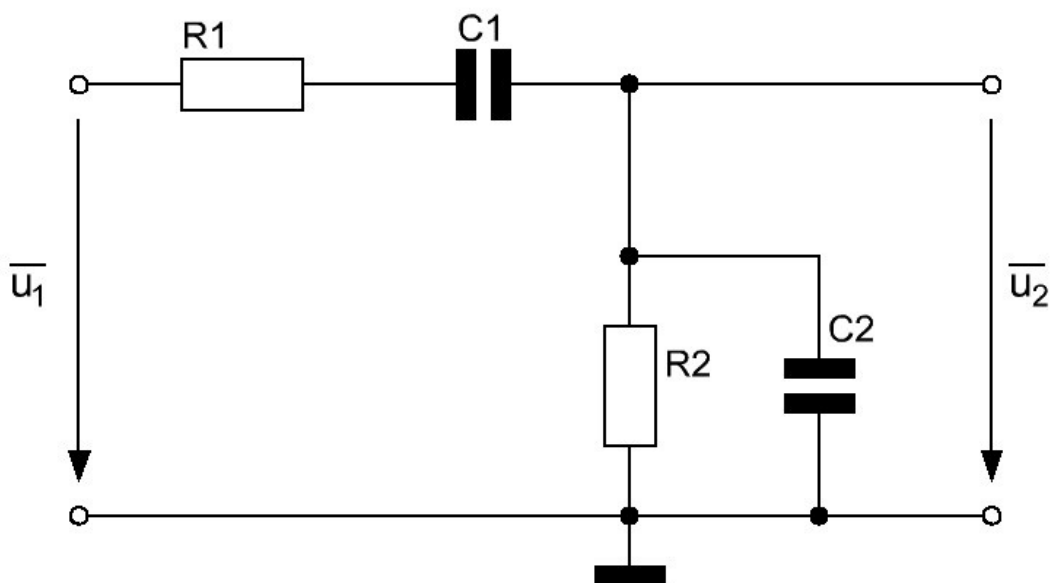
K vykreslení amplitudové a fázové charakteristiky slouží bloky „Build XY Graph“. Do těch se přivádí data z lokální proměnné „array“ (tabulka hodnot). Jak již bylo popsáno výše, tabulka se skládá ze tří sloupců a bloky „Index Array“ nám zajistí jejich rozložení. Jako x-ová souřadnice je brána vždy frekvence, proto ten index „0“. Hodnoty pro vykreslení amplitudové charakteristiky jsou v druhém sloupci - index „1“. A ze třetího sloupce dostáváme hodnoty fáze – index „2“.

Blok „Property Node“ zajišťuje, aby nápis „MĚŘENÍ“ nebyl v této fázi již viditelný, jelikož je měření ukončeno.

### 3. Test VI přístroje

#### 3.1 Wienův článek

Jako testovací zapojení jsem zvolil Wienův článek, schéma je na obr. 18. Jedná se o pásmovou propust tvořenou RC prvky.



Obr. 18: Zapojení Wienova článku

Můžeme si odvodit napěťový přenos, viz. vztah (5) - postup výpočtu je uveden níže.

$$\overline{Z_1} = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{1 + j\omega R_1 C_1}{j\omega C_1} \quad \overline{Z_2} = \frac{1}{Y_2} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}$$

$$\overline{u_2} = \overline{u_1} \cdot \frac{\overline{Z_2}}{\overline{Z_1} + \overline{Z_2}}$$

$$\overline{A_u} = \frac{\overline{u_2}}{\overline{u_1}} = \frac{\overline{u_1} \cdot \frac{\overline{Z_2}}{\overline{Z_1} + \overline{Z_2}}}{\overline{u_1}} = \frac{\overline{Z_2}}{\overline{Z_1} + \overline{Z_2}} = \frac{1}{1 + \frac{\overline{Z_1}}{\overline{Z_2}}}$$

$$\overline{A_u} = \frac{1}{1 + \frac{1 + j\omega R_1 C_1}{1 + \frac{j\omega C_1}{R_2}}} = \frac{1}{1 + \frac{1 + j\omega R_1 C_1}{j\omega C_1} + \frac{1 + j\omega R_2 C_2}{R_2}} = \frac{1}{1 + \frac{1 + j\omega R_1 C_1 + j\omega R_2 C_2 - \omega^2 R_1 R_2 C_1 C_2}{j\omega R_2 C_1}}$$

$$\overline{A_u} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j\left(\omega R_1 C_2 - \frac{1}{\omega R_2 C_1}\right)} \quad (5)$$

Pro mezní kmitočet platí, že imaginární část se musí rovnat nule, viz rovnice (6).

$$\omega_0 R_1 C_2 - \frac{1}{\omega_0 R_2 C_1} = 0 \quad (6)$$

$$\omega_0 R_1 C_2 = \frac{1}{\omega_0 R_2 C_1}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_1 C_2 R_2 C_1}$$

Pak již jen zbývá vyjádřit mezní kmitočet, viz vztah (7).

$$4\pi^2 f_0^2 = \frac{1}{R_1 C_2 R_2 C_1}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 C_2 R_2 C_1}} \quad [Hz] \quad (7)$$

Napěťový přenos při  $f_0$  bude roven, viz rovnice (8).

$$A(f_0) = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}} \quad (8)$$

Pokud zvolíme stejné hodnoty rezistorů a kondenzátorů, můžeme vztahy (7) a (8) zjednodušit.

Pro  $R = R_1 = R_2$ ,  $C = C_1 = C_2$  platí:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad [\text{Hz}] \quad (9)$$

$$A(f_0) = \frac{1}{1 + \frac{R}{R} + \frac{C}{C}} = \frac{1}{3} \quad (10)$$

Zisk v decibelech při  $f_0$  lze vypočítat následovně, viz vztah (11).

$$A_{dB} = 20 * \log A(f_0) = 20 * \log \frac{1}{3} = -9,54 \text{ dB} \quad (11)$$

Ze vztahu (5) lze pak odvodit vztah (12),

$$\overline{A_u} = \frac{1}{3 + j\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} = \frac{1}{3 + j\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)} = \frac{1}{3 + jF} \quad (12)$$

kde  $F$  je poměrové rozladění a je vyjádřeno:

$$F = \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)$$

Pro výpočet fáze platí vztah (13)

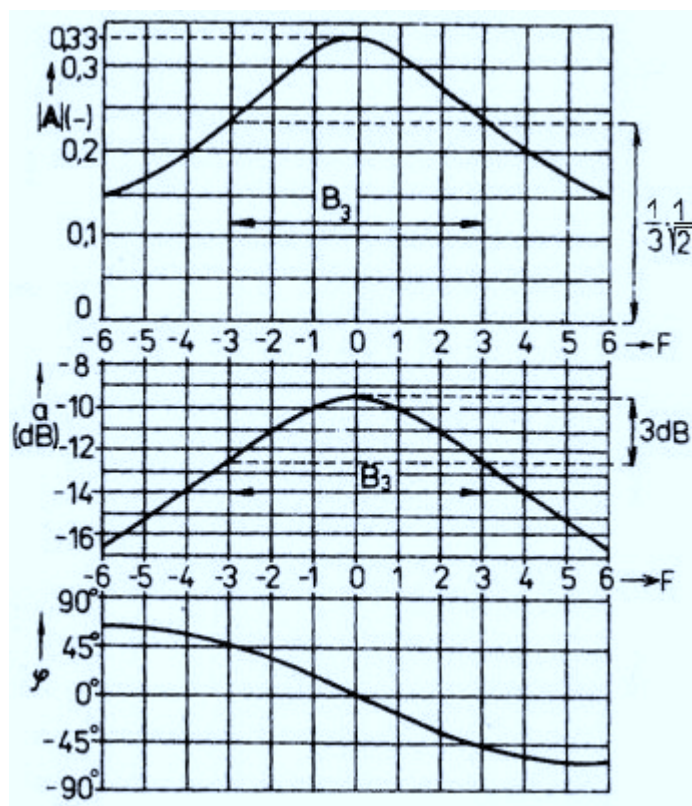
$$\varphi = 45 \cdot \left( -\arctg \frac{F}{3} \right) \quad [^\circ] \quad (13)$$

Šířka pásma je dána poklesem o 3 dB proti maximální hodnotě -9,54 dB.

Pokles převedeme podle vztahu (14).

$$\begin{aligned} -3 &= 20 * \log A_{-3dB}(f) \Rightarrow \\ A_{-3dB} &= 10^{-0,15} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \end{aligned} \quad (14)$$

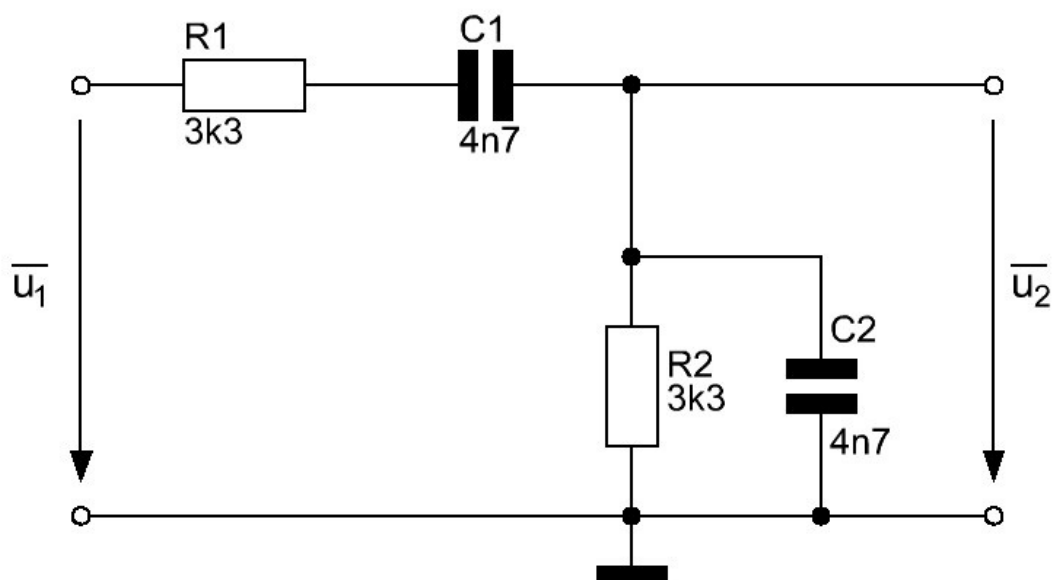
Výslednou frekvenční charakteristiku vidíme na obr. 19 [W10].



Obr. 19: Frekvenční charakteristiky Wienova článku

### 3.2 Porovnání teoretické a naměřené charakteristiky

Na obr. 20 je schéma Wienova článku s konkrétními hodnotami.

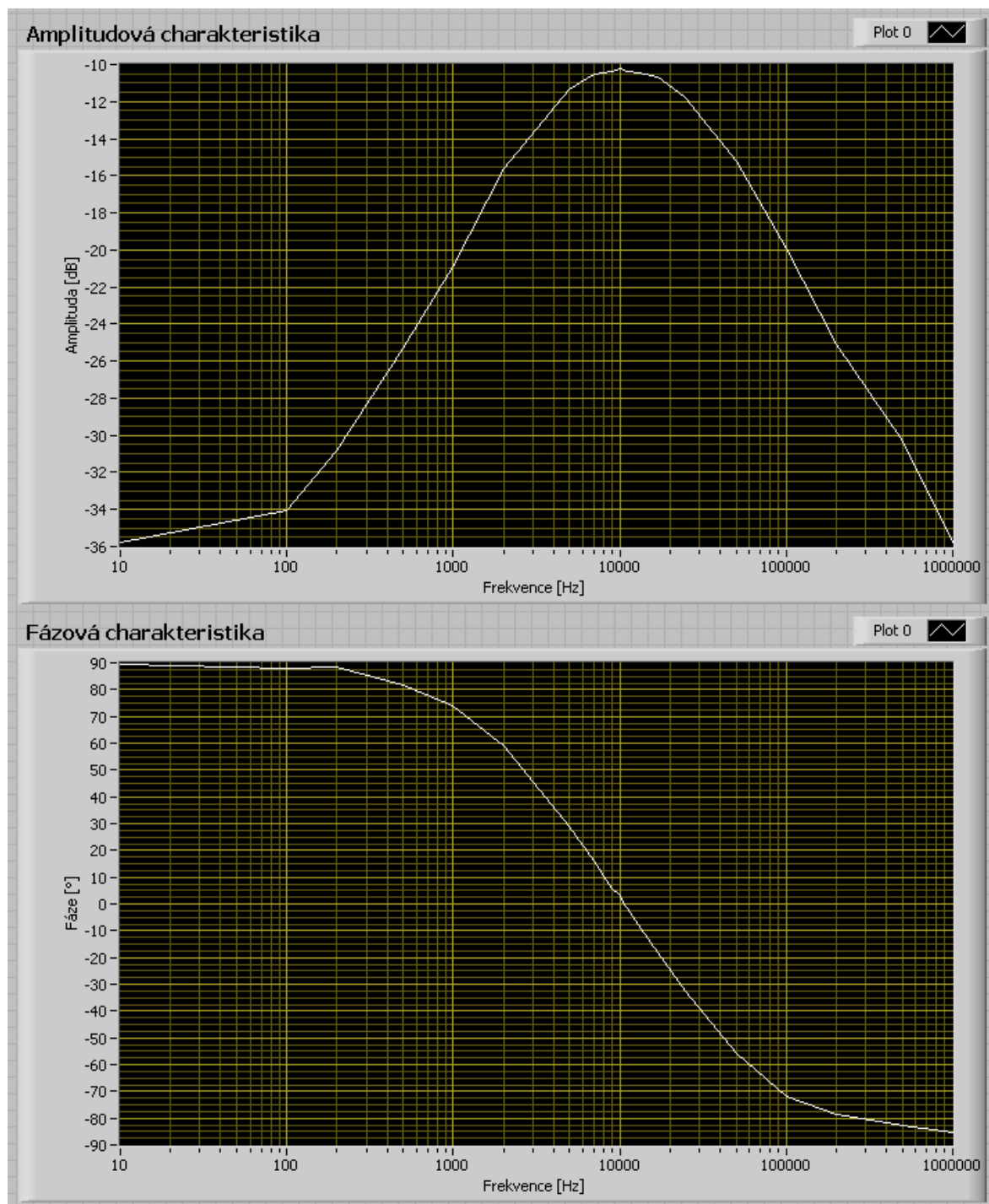


Obr. 20: Schéma testovaného Wienova článku

Ze vztahu (9) můžeme vypočítat mezní kmitočet - dle vztahu (15)

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 3300 \cdot 4,7 \cdot 10^{-9}} = 10261 \text{ Hz} \quad (15)$$

Na obr. 21 jsou zobrazeny charakteristiky získané pomocí VI aplikace z LabVIEW.



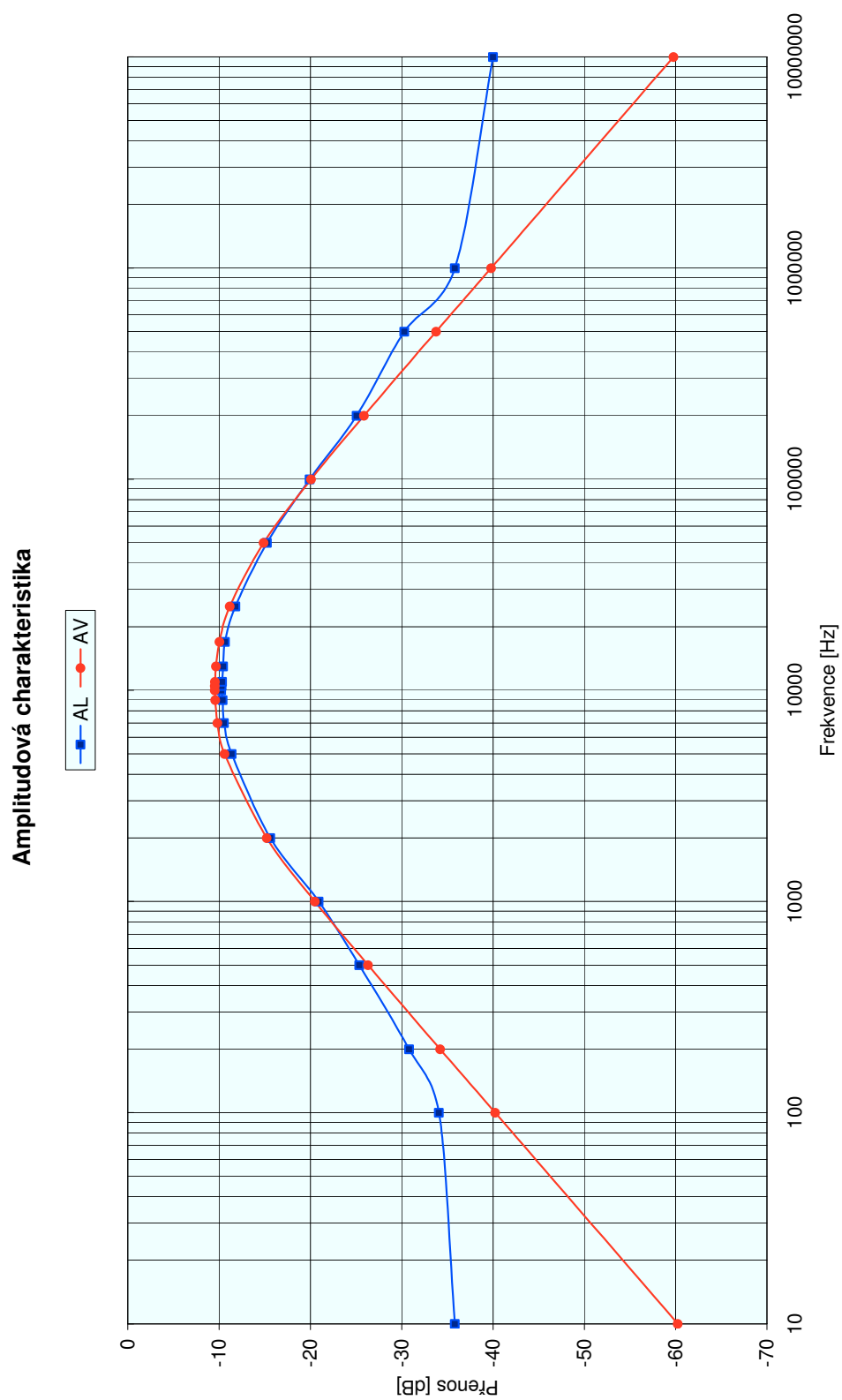
Obr. 21: Frekvenční charakteristiky

Abychom mohli porovnat teoretické hodnoty s hodnotami získanými z VI přístroje, využijeme export dat do souboru „\*.xls“ a do jednoho grafu tak budeme moci zobrazit obě charakteristiky, jak naměřenou v LabVIEW, tak i vypočtenou z dříve uvedených vztahů.

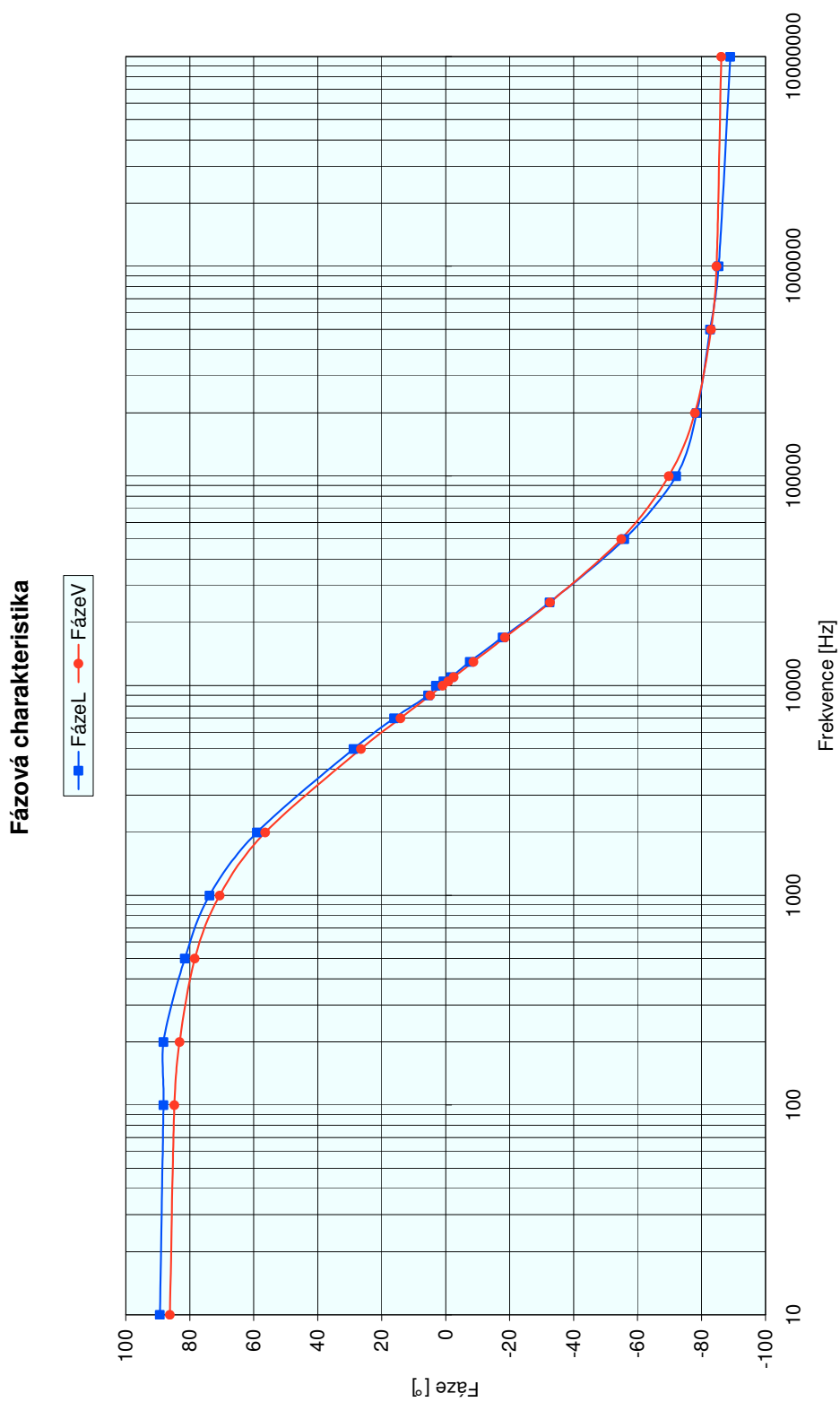
Na obr. 22 je amplitudová charakteristika. Křivka AL odpovídá hodnotám získané z VI přístroje a křivka AV je vypočtená. Vidíme, že mezní kmitočet je shodný. Napěťový přenos je oproti vypočtenému ze vztahu (11) o 0,7dB nižší. V čem však naměřené hodnoty zaostávají, jsou postranní frekvence charakteristiky.

Na obr. 23 je fázová charakteristika. Křivka FázeL odpovídá hodnotám získané z VI přístroje a křivka FázeV je vypočtená. Fázová charakteristika vychází mnohem přesněji, než amplitudová. Nejvíce se hodnoty liší opět v postranních frekvencích.





Obr. 22: Amplitudová charakteristika



Obr. 23: Fázová charakteristika

## Závěr

V první části zadání diplomové práce bylo za úkol vytvořit pomocí standardních komerčně dostupných měřicích přístrojů pracoviště pro automatizované měření frekvenčních charakteristik elektronických zařízení pro frekvenční rozsah 1 Hz až 10 MHz a rozsah úrovní -80 dBV až +20 dBV. S přístroji, které byly použity, byl čtenář seznámen v kapitole 1.1 a 1.2. Co se týká splnění technických parametrů, nastal zádrhel s osciloskopem. Zatím co s generátorem problém nebyl a fungoval v celém zadaném frekvenčním rozsahu 1 Hz až 10 MHz, osciloskop nebyl schopen spouštět (triggrovat) signál pod 10Hz. LabVIEW neustále hlásilo chybu spouštění.

Dále jsem měřením zjistil, že vzniká velké zkreslení při vyhodnocení signálu s amplitudou pod 30 mV, čemuž při vstupním signálu s amplitudou 1 Vpp odpovídá -30dB. Data, která posílá osciloskop do aplikace v LabVIEW, jsou zatížena šumem a tak dochází k nepřesnému vyhodnocení amplitudy (špička - špička) na kanálu 2. Výsledkem je pak odchýlení měřené charakteristiky od teoreticky vypočtené.

Druhá část zadání diplomové práce požadovala vypracovat programové vybavení pro PC, které zajistí obsluhu měřicích přístrojů a zpracování výsledků měření. To bylo vytvořeno v programovacím a vývojovém prostředí LabVIEW. Aplikace k měření frekvenčních charakteristik je plně automatizovaná a po ukončení měření vykreslí amplitudovou a fázovou charakteristiku.

Výhoda takovéto aplikace je jednoznačně v efektivnosti využití času obsluhy, která nemusí u měření trávit čas nastavováním měřicích přístrojů a odečítat naměřené hodnoty. Ty se navíc po ukončení měření uloží do souboru s příponou xls a tak je lze kdykoli dále zpracovat v tabulkovém procesoru, např. Microsoft Excel. Nesporná výhoda virtuálního přístroje je také v tom, že můžeme vlastnosti aplikace upravovat podle potřeby, aniž by bylo potřeba zasahovat do skutečných přístrojů. A pokud dojde v budoucnu k výměně přístrojů, podpora ze strany výrobce zaručí, že po stažení potřebných ovladačů bude aplikace opět funkční.

## Literatura

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustrace Viktorie Vlachová. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.

### Internetové zdroje

- [W1] National Instruments Česká Republika. [online]. [cit. 2014-07-06]. Dostupné z: <http://czech.ni.com/>
- [W2] Výuková skripta. [online]. [cit. 2014-07-06]. Dostupné z: [http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/FAQ/labview/VI\\_Skripta.pdf](http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/FAQ/labview/VI_Skripta.pdf)
- [W3] Data Sheet Agilent 33210A 10 MHz Function/Arbitrary Waveform Generator. [online]. [cit. 2014-07-07]. Dostupné z: <http://www.home.agilent.com/en/pd-1407410-pn-33210A/function-arbitrary-waveform-generator-10-mhz>
- [W4] Agilent Technologies 33210A Function Generator - Instrument Driver - National Instruments. [online]. [cit. 2014-07-07]. Dostupné z: [http://sine.ni.com/apps/utf8/niid\\_web\\_display.model\\_page?p\\_model\\_id=15299](http://sine.ni.com/apps/utf8/niid_web_display.model_page?p_model_id=15299)
- [W5] Tektronix TDS1002B Digital Storage Oscilloscope - Instrument Driver - National Instruments. [online]. [cit. 2014-07-07]. Dostupné z: [http://sine.ni.com/apps/utf8/niid\\_web\\_display.model\\_page?p\\_model\\_id=9073](http://sine.ni.com/apps/utf8/niid_web_display.model_page?p_model_id=9073)
- [W6] Data Sheet TDS1000 Digital Storage Oscilloscopes | Tektronix. [online]. [cit. 2014-07-07]. Dostupné z: <http://www.tek.com/datasheet/tds1000b-series>
- [W7] JANEČEK.Frekvenční charakteristiky. [online]. [cit. 2014-07-08]. Dostupné z: <http://www.mti.tul.cz/files/zsr/Frekvencni-charakteristiky.ppt>
- [W8] Logaritmické charakteristiky. [online]. [cit. 2014-07-08]. Dostupné z: [http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kat\\_fyz/externi/kat\\_fyz\\_5377/Kap11/Kap\\_11.htm](http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kat_fyz/externi/kat_fyz_5377/Kap11/Kap_11.htm)
- [W9] Nejdůležitější elektronické součástky. [online]. [cit. 2014-07-09]. Dostupné z: <http://www.zesilovace.cz/view.php?cislocianku=2003052313>
- [W10] Komplexní dvojbrany. [online]. [cit. 2014-07-09]. Dostupné z: <http://moryst.sweb.cz/elt2/stranky1/elt017.htm>